编者按 近年来，微塑料特别是海洋微塑料污染作为新型环境问题受到全球重视，欧美国家陆续出台相关法规。然而，微塑料对环境影响并不仅仅局限于海洋，淡水、土壤中微塑料污染尚未引起广泛关切，其危害远未被观察、证实和认识。为加强全社会对环境微塑料污染的认识与研究，《院刊》特组织“环境微塑料污染与管控策略”专题，从微塑料对生态环境的危害、相关分析检测方法以及国内外监管（法规）进展等角度进行阐述，期待有更多科学家和管理者加入到对微塑料的相关研究与治理中来，为国家制定相关政策和法规、开展监管提供科学依据和方法技术。本专题由骆永明研究员指导推进。

加强海洋微塑料的生态和健康危害研究提升风险管控能力

徐向荣[1*] 孙承君[2] 季 荣[3] 王菊英[4] 吴辰熙[5] 施华宏[6] 骆永明[7]

1 中国科学院南海海洋研究所 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室 广州 510301
2 国家海洋局第一海洋研究所 国家海洋局海洋活性物质重点实验室 青岛 266061
3 南京大学 环境学院 污染控制与资源化研究国家重点实验室 南京 210023
4 国家海洋环境监测中心 海洋垃圾和微塑料研究中心 大连 116023
5 中国科学院水生生物研究所 淡水生态与生物技术国家重点实验室 武汉 430072
6 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 上海 200062
7 中国科学院南京土壤研究所 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室 南京 210008

摘要 近10年来，海洋微塑料污染引起了国际社会的广泛关注。微塑料对海洋生物的影响与危害等研究直接推动了“禁止向化妆品中添加塑料微珠”等法规的出台。然而，要促使对全球海洋微塑料污染管控采取进一步的实质性行动，还需要更充分的科学证据来表明微塑料具有生态和健康危害。文章强调了开展海洋微塑料的生态与健康效应研究的迫切性，阐述了未来研究方向和所面临的挑战，提出了海洋微塑料污染的应对举措，并呼吁应采取“预警性原则”的政策，提升海洋微塑料污染风险管控能力。

关键词 微塑料污染，海洋环境，生态和健康危害，风险管控

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.10.001

2004年，英国普利茅斯大学Thompson教授[1]在*Science*上首次提出“微塑料”（microplastic）的概念，开启了学术界对海洋微塑料的广泛研究。目前，凡是尺寸小于5 mm的塑料纤维、颗粒或薄膜即可被认定为微塑料[2]。与大尺寸的海洋塑料垃圾相比，微塑料在海洋环境中丰度更高，分布更广，可存在于海水、沉积物

*通讯作者
资助项目：国家自然科学基金（41876129），国家重点研发计划（2016YFC0502805），中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（2017Y03）
修改稿收到日期：2018年10月4日

以及不同营养级生物体内，是一类新兴环境污染物[3]。2011年，海洋微塑料污染被联合国环境规划署（UNEP）列为全球要面对的一个新的环境问题和挑战[4]。

自2008年以来，海洋微塑料研究进入快速发展的时期，引起了国际社会的广泛关注[5]。在建立微塑料分离和鉴定方法的基础上，众多研究证实了微塑料在海洋环境和生物体中的大量和广泛存在[6]，并直接推动了“禁止向化妆品中添加塑料微珠”等法规的出台。然而，要促使国际社会对微塑料污染管控采取进一步的实质性行动，还需要更充分的科学证据来表明微塑料具有生态和健康危害。

为此，本文分析了当前海洋微塑料污染的生态效应，强调了开展海洋微塑料的生态与健康效应研究的迫切性，阐述了未来研究方向和所面临的挑战，提出了海洋微塑料污染的应对举措，并呼吁应采取“预警性原则”的政策，提升海洋微塑料污染风险管控能力。

1 微塑料在海洋环境中的分布和迁移

微塑料粒径小、密度轻，可通过风力、潮流及洋流等外力作用进行远距离、广范围的迁移[3]，在海洋环境中的各个角落，从沿岸到大洋，从赤道到南北两极，从海面水体到深海沉积物，甚至海雪和冰川等，都有微塑料的广泛分布[6]。研究表明，河流径流是陆地微塑料进入海洋环境的最主要途径[7]，据统计每年约有115—241万吨塑料垃圾经全球河流汇入海洋[8]。目前，海水中微塑料污染的平均丰度范围约为4.8×10^{-6}—8.6×10^{3}个/m^3，已报道的最高丰度出现在瑞士沿岸水体中[9]。在全球海洋环境中，海面漂浮的微塑料主要聚集于北太平洋、南太平洋、北大西洋、南大西洋和印度洋的5个洋流环流带[10,11]。根据12年（2001—2012年）长期连续监测显示，微塑料在北太平洋洋流环流带的含量（156 800个/km^2）显著高于其他非洋流环流区域（1 864个/km^2）[12]，而这些微塑料主要是由世界沿海国家排放的塑料污染物分解或降解形成[10-12]。尽管目前已开展了一些调查与研究工作，但关于微塑料在全球不同海域的分布与迁移特征等研究仍需要加强。进一步掌握海洋微塑料的污染特征，有助于开展基于环境特征和浓度的微塑料生态毒理学研究与生态风险评估工作。

另外，微塑料的比表面积大、疏水性强等特征增强了其表面吸附微生物、有机污染物和重金属等物质的能力[13]。微塑料自身在环境中的强吸附性和易迁移性，使其成为环境中毒害污染物迁移与传播的载体。已有研究表明，微塑料不但对重金属及持久性有机污染物具有较高的富集能力，同时对污染物的环境迁移及生物体内累积与传递等具有明显的传输作用[14,15]。因此，海洋微塑料及其负载的污染物已成为环境科学研究领域关注的热点。

2 微塑料在海岸带的污染特征

海岸带是陆海相互作用的地带，微塑料易在此处聚集。在海岸带，通过陆源排污、河流输送、地表径流等作用可将微塑料输入到河口和海洋，又可通过洋流、潮汐、风生流等动力将微塑料推送到潮滩，同时还有在海岸旅游、晒盐、养殖等人类活动中产生、残留或带入到潮滩和近海的微塑料。因此，海岸带的潮滩、近海水体和沉积物普遍受到微塑料污染，尤以滨海养殖区、旅游景点、渔港等处微塑料污染最为严重，并以纤维、发泡或碎片类微塑料为主[16]。海岸带沉积物中微塑料平均含量约为25—47 897个/m^2，潮下带沉积物中微塑料的平均丰度介于15—3 320个/kg（干重计）[6]。此外，海岸带不同生态系统类型的潮滩中微塑料丰度差异明显，主要受河口输入、植物（如盐沼、红树林等）拦截作用等因素的影响。

海岸带来源的微塑料表面形貌多样而复杂，如潮滩的微塑料，因受海水、盐分、氧气等化学作用，颗粒摩擦、光、风等物理作用，以及微型生物的侵蚀和降解等生物作用的影响，微塑料表面发生龟裂或破碎，形成新的官能团，其孔隙中可附着颗粒物或携带铁氧化物[16-18]，

从而扩大其比表面积和电荷，以利于吸附环境中的有机污染物[19]，形成微塑料-内源性污染物（如添加剂）-外源性污染物（如持久性有机污染物等）的复合体，在海洋和海岸环境中残留或向海陆区域迁移，对近岸海域和滨海陆地生态系统构成威胁。

3 海洋微塑料污染的生态效应

3.1 微塑料对海洋生态系统影响的主要方式

生物是生态系统的重要组成部分，微塑料对海洋生物生存造成的负面影响会威胁海洋生态系统的健康与稳定。微塑料污染的生态效应主要包括生物摄入的影响、微塑料及其复合污染物的毒性效应、微塑料作为入侵物种载体的影响[20]。

3.1.1 微塑料摄入对海洋生物的影响

微塑料进入海洋生物体内的一个重要途径是通过生物体的吞噬或摄食行为。由于微塑料粒径较小，海洋生物尤其是幼小生物在摄食过程中很难将其与其他食物颗粒区分开来，容易造成微塑料的误食。研究表明，在海洋生态系统的各个生态位上均存在生物“摄食”微塑料的现象，包括海洋浮游动物[21]、底栖动物[22,23]、鱼类[24]、鸟类[25]乃至大型哺乳动物[26]等。此外，微塑料还可通过黏附或呼吸等行为进入生物体内[27]。

根据室内暴露实验，摄入体内的微塑料对部分海洋生物造成毒性效应，主要包括生长发育不良、繁殖能力降低、行为活动异常、基因表达异常和存活率降低等[28]。当粒径进一步减小，微塑料可经由海洋生物消化道转移到循环系统、免疫系统乃至组织细胞中，引发机体免疫系统的炎症反应等[29,30]。此外，除了对生物个体产生影响，摄入或黏附的微塑料也可通过食物链传递过程从低营养级生物转移到高营养级生物甚至人体中，对海洋生物及人体健康构成潜在的威胁[20,31]。

3.1.2 微塑料及其复合污染物的毒性效应

微塑料具有颗粒小、比表面积大和疏水性强等特点，易与环境污染物特别是有机污染物相互作用，这些作用主要包括吸收、吸附和释放 3 个方面。微塑料对污染物的吸收源自于微塑料表面-液体界面存在污染物浓度差，污染物可扩散穿过微塑料表层进入内部[32]。有研究认为，微塑料吸附污染物属于物理过程，吸附能力的大小更多取决于微塑料表面的物理化学性质，如疏水性和平滑度等[33]；非极性单体聚合而成的微塑料（如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯）能从周围受污染的海洋环境中吸附有机污染物，并在表面富集高达百万倍于环境的浓度[34]。

长时间暴露在海洋环境中的微塑料经海洋生物摄入体内，在一定条件下会从消化道中释放出之前吸收和吸附的污染物，并且在生物肠道条件下微塑料吸附的污染物解吸速度比在单独的海水中高 30 多倍[35]，解吸的污染物转而会被生物组织吸收从而引发毒性效应[36]。不仅如此，塑料生产过程中为了提高其特种性能而添加的化学试剂，在经过海水浸泡和风化作用后会重新释放到环境当中，造成污染区域的污染物浓度显著高于原环境背景浓度，进而对水生生物的健康产生不利影响[37]。由此可见，海洋环境中微塑料与污染物的复合污染将对海洋生物造成更为复杂的影响，相关的生物毒理效应和作用机理亟待进一步研究。

3.1.3 微塑料成为入侵物质的载体

当微塑料进入海洋环境后，环境中的微生物会迅速附着到微塑料表面，1 周左右即可形成较为稳定的生物膜。由于微塑料数量庞大，科学家曾预估海洋中微塑料表面的微生物量高达 1 000—15 000 吨[38]。在洋流和潮汐等作用下，一方面，微生物可通过这些“浮筏”进行长距离跨海区的迁移，从而增加了海洋微生物迁移与传播的机会，造成外来物种入侵[39]；另一方面，病原体也可通过微塑料这一载体被生物摄入或直接接触而引发生物毒理效应[40,41]，甚至危害人体健康。最新研究表明，海洋微塑料携带而来的有害物质能引起珊瑚礁疾病的增加，如骨骼侵蚀带病增加 24%，白化病上升 17%，黑带病上升 5%[42]。

3.2 海洋微塑料污染生态效应研究的迫切性及面临的挑战

过去10年的研究，通过大量的事实证明了海洋中微塑料的“普遍存在”；然而，当前对于海洋微塑料生态风险的研究现状是：在野外环境中尚无直接证据表明微塑料对生态系统造成了影响，尽管室内实验表明微塑料能对生物产生多种毒理学效应，但由于室内研究与真实环境相去甚远，其数据还不能较好地运用于微塑料的生态和健康风险评估。

导致微塑料生态效应研究陷入目前这一瓶颈期的主要原因在于微塑料是一种复杂的新型污染物，我们对其认识还远远不足。但环境中微塑料的数量持续快速增长和普遍存在已成为不争的事实，对这一问题缺乏认识将导致我们对潜在的风险无法预测，在海洋微塑料的管控上无法进一步推进强有力的政策。因此，当前迫切需要加强海洋微塑料的生态和健康风险研究，为有效的管控政策制定提供科学依据和技术支持。

寻找微塑料危害的野外证据和获取有效的室内毒理学数据将是今后微塑料研究面临的最严峻挑战。要解决这一难题需要我们进一步深入认识微塑料污染物的本质特征，并在此基础上建立适合于微塑料毒理学研究的方法体系。

首先，微塑料独特的理化特性（如大小、形状和密度等）决定了其在环境中的不均匀分布，而且多种环境条件的不断变化导致环境中的微塑料也处于一种动态变化之中。因此，可以认为环境中的微塑料本质上是一种具有多种动态变化特征的、空间分布不均一的复合污染物。

其次，由于目前样品采集、分离和鉴定方法的局限性，获取的只是环境中一部分微塑料的信息。国内外对小粒级的微塑料（如粒径 < 20 μm）进行报道的文献极少，对环境中纳米级微塑料的分离和鉴定则一直尚未突破[43]。同时，对环境中微塑料的表征指标主要是丰度，而大小、形状和颜色等往往通过粗略的范围或比例来表征。在水相中，仅参照化学污染物浓度的表征方法对于微塑料并不可行，建立“微塑料的特征谱”可能是更全面表征环境中微塑料的有效方法。

最后，在野外调查中，寻找微塑料与野外生态效应指标之间的关联性，需考虑和运用微塑料环境特征谱的概念，且主要是寻找种群及以上水平的证据；在室内暴露实验中，制备和使用“环境特征的微塑料”，才能更准确地揭示环境中的微塑料可能的生态毒性和风险。总之，如果说过去10年的海洋微塑料研究证明了其“普遍存在”，那么今后10年的主要目标之一则是阐明其“生态与健康危害”。

4 海洋微塑料污染的应对举措

4.1 国内外法令措施

为了应对日益严重的微塑料污染，联合国（UN）、国际海事组织（IMO）、东北大西洋海洋环境保护组织（OSPAR）、欧洲委员会（EC）、赫尔辛基委员会（HELCOM）等国际组织相继制定了相关法律条例。欧盟海洋战略框架指令（MSFD）利用11个指标对海洋环境中微塑料的数量、性质和潜在影响进行了相关描述，并制定了调查监测报告[44]。随着2013年欧洲委员会绿皮书的发布，全球关注微塑料污染的呼声日益高涨。欧洲国际海洋开发委员会（ICES）2015年3月起草了一份监测海洋鱼类胃部微塑料污染的规范，作为对OSPAR组织2015年1月提出的“建立贝类和鱼类胃部微塑料监测标准”的回应[45]。2014年12月，荷兰、奥地利、卢森堡、比利时和瑞典发表联合公告，呼吁欧盟禁止向个人化妆品中添加微塑料的行为[46]。2015年12月，奥巴马签署《无微珠水法案》，该法案要求2019年前在美国境内取缔和停止销售所有含有“刻意添加塑料微珠”的个人洗护产品。美国成为全球第一个全面禁止添加塑料微珠进入化妆品的国家。此外，加拿大、印度、澳大利亚和英国等也先后立法禁止销售含有微塑料颗粒的个人化妆品。

我国政府及相关职能部门对海洋微塑料污染问题也表现出极大的关注，如2015年中美“保护海洋”首次特别会议上，“预防和减少海洋塑料垃圾污染”被列为此

次战略对话的重要内容。在2016年科技部“十三五”国家重点研发计划中，“海洋微塑料监测和生态环境效应评估技术研究”项目成功立项。2017年12月，国家海洋局发表《2016年中国海洋环境状况公报》，明确指出将微塑料纳入环境监测项目，在渤海、东海、南海三大海域开展断面表层水体漂浮微塑料试点监测工作，并初步掌握了我国海洋微塑料分布特征。2018年4月，中国环境科学研究院召开西北太平洋行动计划（NOWPAP）“海洋微塑料监测方法与评价”特别项目建议书编制启动会，旨在加强NOWPAP框架下成员国在海洋微塑料调查和评估方法研究领域的可比性。

4.2 社会活动

尽管越来越多的国家开始意识到微塑料污染对环境影响深远，然而微塑料禁令的立法过程实际上依然力不从心，微塑料污染的治理情况依然不容乐观。原因在于，从早期的科学调查取证到法令的起草、通过和施行，中间需要耗费大量时间并遇到巨大阻力，这对迫在眉睫的微塑料污染而言毫无帮助。但如果通过宣传教育活动正面引导公众认知，进而推动相关企业和机构改革，这一现象或将得到极大改善。为了加速微塑料禁令的立法过程和提高微塑料污染的治理成效，联合国环境规划署发起一项名为“化妆品：我们的个人护理品是否正在污染环境”的活动[47]。该活动通过一款手机应用和名为“击败塑料微粒（Beat the Microbead）”的网站帮助消费者确认化妆品中是否含有微塑料，旨在提高公众对水环境中微塑料污染的认知水平。

同时，非政府组织（NGOs）在积极保护海洋环境方面也起到了相当重要的作用。比如，在提高公众认知方面，美国阿尔加利特海洋研究中心（Algalita Marine Research Foundation）目前正考察微塑料和持久性有机污染物（POPs）在5个主要海洋环流的分布。世界非牟利团体海洋远航研究机构组织的“海星计划”（Project Kaisei）与美国斯克里普斯海洋研究所合作，共同研究在北太平洋环流的塑料碎片。国际海洋保护协会组织每年一度的“净滩行动”收集海滩上各种废弃物；我国国内蓝丝带海洋保护协会、上海仁渡海洋公益发展中心等民间环保组织通过建立岸滩海洋垃圾监测网络等开展清理海洋塑料垃圾活动。在政府组织和社会组织的共同努力下，微塑料污染治理工作取得初步成效，并促使多个跨国公司（如联合利华、强生等）宣布放弃在化妆品中使用微塑料。值得一提的是，遏制微塑料污染不能只依靠政策制定者和法律条例，更需要制造业、零售业、旅游业和渔业等多个行业的共同努力，才能最大限度地降低海洋环境微塑料污染。

5 海洋微塑料污染的风险管控

5.1 海洋微塑料污染管控方面目前存在的问题

微塑料作为一类新型的海洋环境污染物，目前相关的研究工作和监管措施仍处于初级阶段，主要体现在以下3个方面：① 政策制定方面仍缺乏生态和健康效应方面的强有力证据。如前所述，由于海洋微塑料是新的复杂的环境问题，对其生态毒理的研究还严重不足，而对其健康效应的研究几乎是空白。② 当前对海洋微塑料的管控重点不明确。目前国际上纷纷出台的“对化妆品中微珠的控制”对于控制环境微塑料污染的作用十分有限，原因在于化妆品中添加的微塑料只占环境中微塑料来源的极小一部分。当然，该法案对提升公众认知具有十分积极的意义。③ 海洋环境中微塑料的就地治理难度巨大，且效果甚微。由于微塑料尺寸极小且分布极广，在浩瀚的海洋中直接去除海洋微塑料的做法难以实现。

5.2 风险管控

尽管国际社会和一些国家为防止和减少废弃塑料等海洋垃圾作出了不懈努力，然而由于海洋塑料垃圾跨越了国家和区域界限，因此这种污染已经成为一个全球性的复杂的环境问题。我国是世界上最大的塑料生产及使用国家，同时也是海洋塑料垃圾的排放大国[48]，因此所面临的海洋塑料垃圾及微塑料污染问题也更加严重。为了有效控制海洋塑料和微塑料污染，提出以下3点

建议。

（1）*必须大力加强海洋微塑料的生态和健康效应及风险评估研究。*在生态效应方面应强调野外真实海洋环境的研究，尤其是一些微塑料污染严重的区域，如废旧塑料回收加工地等；而在健康风险方面要着重研究水产品的质量安全和多途径暴露下的长期影响效应。

（2）*在海洋微塑料污染政策的制定上应采取"预警性原则"。*海洋微塑料污染风险是一个全球性的复杂科学问题。根据对一类污染物的研究周期和目前通用的生态风险评估标准，微塑料生态和健康的定性结论可能还需要10—15年时间。如果等到所有科学证据完备的前提条件下再进行管控，海洋微塑料污染带来的生态和健康风险可能已无法控制。因此，从风险控制的角度来看，目前的科学数据表明我们在微塑料的管控上必须采取"预警性原则"的政策，也就是要开始逐步采取必要的行动，以避免和遏制微塑料的海洋污染进一步恶化。

（3）*在海洋微塑料的管控上应科学应对，提升风险管控能力。*根据微塑料的特点，实行微塑料的就地处理和直接管控效果都十分有限，而源头管控才是海洋微塑料管控的关键。微塑料最主要的来源是由大塑料破碎化而成，而大塑料所造成的生态风险已证据确凿。因此，通过制定更为严格的塑料制品管理标准和规范、引导消费习惯以及开发塑料的高效、低成本可降解替代产品，从而减少塑料制品使用数量和塑料垃圾入海通量是管控微塑料的核心所在。微塑料的另一来源是诸如添加到各类产品中的塑料微珠和塑料原生粒子；然而，对原生粒子的管控要根据我国具体国情制定相应的对策。我国塑料加工产业发达，尤其是废旧塑料加工过程中产生的原生微塑料污染可能更为严重。

总之，海洋微塑料污染已成为普遍存在和全球共同关注的海洋环境问题。当前我国迫切需要加强其生态效应和健康风险研究，为海洋微塑料管控提供科学依据；同时，海洋微塑料治理政策的制定需采取"预警性原则"，根据我国国情制定科学而有效的管控措施，减少海洋微塑料污染，保护我们蓝色的海洋家园。

参考文献

1 Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic? Science, 2004, 304: 838.

2 GESAMP. Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment. London: International Maritime Organization, 2015: 90-96.

3 Cole M, Lindeque P, Halband C, et al. Microplastics as contaminants in the marine environment. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62: 2588-2597.

4 UNEP. Plastic debris in the ocean// UNEP Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2011: 48-53.

5 周倩, 章海波, 李远, 等. 海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展. 科学通报, 2015, 60 (33): 3210-3220.

6 Zeng E Y. Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency. Amsterdam: Elsevier, 2018.

7 Eerkes-Medrano D, Thompson R C, Aldridge D C. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. Water Research, 2015, 75: 63-82.

8 Lebreton L C M, van der Zwet J, Damsteeg J W, et al. River plastic emissions to the world's oceans. Nature Communications, 2017, 8: 1-10.

9 Norén F. Small Plastic Particles in Coastal Swedish Waters. Lerwick: KIMO Sweden, Lysekil, 2007: 3-11.

10 Cózar A, Echevarríaa F, González-Gordilloa J I, et al. Plastic debris in the open ocean. PNAS, 2014, 111(28): 10239-10244.

11 Eriksen M, Lebreton L C M, Carson H S, et al. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. PLoS One, 2014, 9: e111913.

12 Law K L, Moret-Ferguson S E, Goodwin D S, et al. Distribution of

surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an 11-year data set. Environmental Science & Technology, 2014, 48: 4732-4738.

13 高丰蕾, 李景喜, 孙承君, 等. 微塑料富集金属铅元素的能力与特征分析. 分析测试学报, 2017, (8): 1018-1022.

14 Brennecke D, Duarte B, Paiva F, et al. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. Estuarine Coastal & Shelf Science, 2016, 178: 189-195.

15 Batel A, Borchert F, Reinwald H, et al. Microplastic accumulation patterns and transfer of benzo[a]pyrene to adult zebrafish (*Danio rerio*) gills and zebrafish embryos. Environmental Pollution, 2018, 235: 918-930.

16 Zhou Q, Zhang H B, Fu C C, et al. The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea. Geoderma, 2018, 322: 201-208.

17 Zurcher N A. Small Plastic Debris on Beaches in Hong Kong: An Initial Investigation. Hong Kong: Hong Kong University Theses Online, 2009.

18 周倩, 章海波, 周阳, 等. 滨海潮滩土壤中微塑料的分离及其表面微观特征. 科学通报, 2016, 61(14): 1604-1611.

19 Zhang W, Ma X, Zhang Z, et al. Persistent organic pollutants carried on plastic resin pellets from two beaches in China. Marine Pollution Bulletin, 2015, 99(1-2): 28-34.

20 孙承君, 蒋凤华, 李景喜, 等. 海洋中微塑料的来源、分布及生态环境影响研究进展. 海洋科学进展, 2016, 34(4): 449-461.

21 Sun X X, Liang J H, Zhu M L, et al. Microplastics in seawater and zooplankton from the Yellow Sea. Environmental Pollution, 2018, 242: 585-595.

22 Li J N, Yang D Q, Li L, et al. Microplastics in commercial bivalves from China. Environmental Pollution, 2015, 207: 190-195.

23 Li H X, Ma L S, Lin L, et al. Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China. Environmental Pollution, 2018, 236: 619-625.

24 Jabeen K, Su L, Li J N, et al. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. Environmental Pollution, 2017, 221: 141-149.

25 Zhao S Y, Zhu L X, Li D J, et al. Microscopic anthropogenic litter in terrestrial birds from Shanghai, China: Not only plastics but also natural fibers. Science of the Total Environment, 2016, 550: 1110-1115.

26 Lusher A L, Hernandez-Milian G, O'Brien J, et al. Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale Mesoplodon mirus. Environmental Pollution, 2015, 199: 185-191.

27 Kolandhasamy P, Su L, Li J N, et al. Adherence of microplastics to soft tissue of mussels: A novel way to uptake microplastics beyond ingestion. Science of the Total Environment, 2018, 610: 635-640.

28 Galloway T S, Lewis C N. Marine microplastics spell big problems for future generations. PNAS, 2016, 113: 2331-2333.

29 Browne M A, Dissanayake A, Galloway T S, et al. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). Environmental Science & Technology, 2008, 42(13): 5026-5031.

30 von Moos N, Burkhardt-Holm P, Koehler A. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. Environmental Science & Technology, 2012, 46(20): 11327-11335.

31 Catarino A I, Macchia V, Sanderson W G, et al. Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibers fallout during a meal. Environmental Pollution, 2018, 237: 675-684.

32 Rochman C M, Hoh E, Hentschel Brian T, et al. Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris. Environmental Science & Technology, 2013, 47(3): 1646-1654.

33 Wang F, Shih K M, Li X Y, et al. The partition behavior of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanesulfonamide

(FOSA) on microplastics. Chemosphere, 2015, 119: 841-847.

34 Hirai H, Takada H, Ogata Y, et al. Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(8): 1683-1692.

35 Bakir A, Rowland S J, Thompson R C. Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2014, 140: 14-21.

36 Ma Y N, Huan A N, Cao S Q, et al. Effects of nanoplastics and microplastics on toxicity, bioaccumulation, and environmental fate of phenanthrene in fresh water. Environmental Pollution, 2016, 219: 166-173.

37 Browne M A, Niven S J, Galloway T S, et al. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. Current Biology, 2013, 23(23): 2388-2392.

38 Zettler E R, Mincer T J, Amaral-Zettler L A. Life in the "Plastisphere": Microbial communities on plastic marine debris. Environmental Science & Technology, 2013, 47(13): 7137-7146.

39 Harrison J P, Sapp M, Schratzberger M, et al. Interactions between microorganisms and marine microplastics: A call for research. Marine Technology Society Journal, 2011, 45(2): 12-20.

40 Keswani A, Oliver D M, Gutierrez T, et al. Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. Marine Environmental Research, 2016, 118: 10-19.

41 Kirstein I V, Kirmizi S, Wichels A, et al. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. Marine Environmental Research, 2016, 120: 1-8.

42 Lamb J, Willis B, Fiorenza E, et al. Plastic waste associated with disease on coral reefs. Science, 2018, 359: 460-462.

43 Mintenig S M, Bauerlein P S, Koelmans A A. Closing the gap between small and smaller: towards a framework to analyse nano- and microplastics in aqueous environmental samples. Environmental Science-Nano, 2018, 5(7): 1640-1649.

44 Galgani F. Marine litter within the European marine strategy framework directive, Cham. Ices Journal of Marine Science, 2013, 70(6): 1055-1064.

45 OSPAR. Request on development of a common monitoring protocol for plastic particles in fish stomachs and selected shellfish on the basis of existing fish disease survey// ICES Special Request Advice Book 1. London: OSPAR Commission, 2015: 1-6.

46 European Commission. Green Paper: On a European Strategy on Plastic Waste in the Environment. [2013-07-03]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0123&qid=1538624342353&from=EN.

47 UNEP. Plastic in Cosmetics, Are We Polluting the Environment through Our Personal Cares. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP), 2015.

48 Jambeck J R, Geyer R, Wilcox C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 2015, 347: 768-771.

Strengthening Ecological and Health Hazards Study of Marine Microplastics and Promoting Risk Regulatory and Control Capacities

XU Xiangrong[1*] SUN Chengjun[2] JI Rong[3] WANG Juying[4] WU Chenxi[5] SHI Huahong[6] LUO Yongming[7]

（1 CAS Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2 Key Laboratory of Marine Bioactive Substances and Analytical Technology, the First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration , Qingdao 266061, China;

3 State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

4 Marine Debris and Microplastics Research Center, National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China;

5 State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

6 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

7 CAS Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China）

Abstract In the last decade, microplastic pollution in marine environments has aroused great concern of international society. The adverse biological impacts of microplastics on marine biota directly promote the issue of laws to ban the sale or distribution of cosmetics containing synthetic plastic microbeads. However, it is still necessary to find more scientific evidences for the testification of potential harms of microplastics to the ecological and human health in order to take the further action to manage and control the global microplastic pollution. This paper emphasizes that it is urgent to study the ecological and health hazards of marine microplastics. The prospects and challenges in this field are also discussed. Furthermore, the measures to solve microplastic pollution in marine environments are proposed and a precautionary principle in administration is recommended with an aim to elevate management capacity for controlling microplastic pollution in marine environments in the future.

Keywords microplastic pollution, marine environment, ecological and health hazard, risk management



徐向荣 中国科学院南海海洋研究所研究员，博士生导师，中国科学院“百人计划”入选者。研究方向为环境地球化学。已在国际国内重要学术期刊上发表论文120多篇，其中在国际SCI期刊上发表学术论文90多篇，*h*指数29。已获得国家发明专利3项，主持译著1部、参编书籍章节10本。曾获得2014年中国科学院广州教育基地优秀研究生导师称号。

E-mail: xuxr@scsio.ac.cn

XU Xiangrong Professor at South China Sea Institute of Oceanology (SCSIO), Chinese Academy of Sciences (CAS). She was awarded the 100 Talent Program of CAS (2010) and the Excellent Postgraduate Supervisor by Guangzhou Branch of CAS. Her research fields mainly focus on marine environmental geochemistry and risk assessments. So far she has published more than 120 research papers, among which more than 90 papers are published in international SCI journals, with *h* index 29. Furthermore, she has published a translation book and 10 chapters of English monographs, and held 3 authorized patents.

E-mail: xuxr@scsio.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author